LE STATUT DE L'ARTEFACT DANS LE DISCOURS DE L'APPRENANT

Marc Weisser

L'interaction entre le sujet apprenant et son environnement peut s'opérer par le truchement d'outils linguistiques. Elle peut prendre la forme également d'une médiation par les objets techniques. Une activité de construction de fusées à eau est proposée à une classe de Cycle 3 (9-10 ans). Une première série d'artefacts, élaborés en dehors de toute concertation, est lancée. Elle ne permet pas d'identifier quelles sont parmi leurs caractéristiques celles qui ont une relation avec la hauteur atteinte. Au cours de la discussion apparaît l'idée d'un traitement séparé des traits distinctifs. La classe se sert alors d'un instrument symbolique, le tableau des variables, pour concevoir une nouvelle série d'artefacts matériels. Le débat qui suit le second tir valide la méthode employée et conclut quant aux caractéristiques pertinentes du prototype à retenir.

Cette étude montre que le statut des artefacts conçus et utilisés par la classe oscille d'un épisode à l'autre du pôle objet au pôle instrument, chacun contribuant à tour de rôle à perfectionner l'autre.

1. APPRENTISSAGE ET MÉDIATION

contact direct avec la nature…

Ce n'est que rarement que le sujet humain entre en contact direct avec son environnement. À plus forte raison quand il est animé par l'intention d'apprendre : se distancier du monde qui l'entoure pour le ressaisir, pour le comprendre, nécessite alors de faire appel à des dispositifs de médiation. Rousseau le déplore quand il avance dans l'Émile que « *la puissance humaine agit par des moyens, la puissance divine agit par elle-même* » (1999, 347), pour finir par inciter le pédagogue à la méfiance envers le langage : « *resserrez donc le plus qu'il est possible le vocabulaire de l'enfant. C'est un très grand inconvénient qu'il ait plus de mots que d'idées, et qu'il sache dire plus de choses qu'il n'en peut penser* » (*ibid.*, 58) ; pour une critique de cette position, on peut se reporter à Weisser (2004).

Les avancées de la psychologie de l'apprentissage conduisent désormais à soutenir la thèse inverse. Vérillon (2004,163) nous rappelle « *la thèse vygotskienne (…) qui postule un double enracinement de la pensée humaine, d'une part dans des activités mettant en œuvre des signes, et d'autre part dans celles mobilisant des outils* ». La médiation entre le sujet humain et le monde est donc double, assurée non seulement par les langages, de la langue maternelle aux codes formels comme l'algèbre, mais également par des moyens matériels fabriqués dans ce but.

Médiation double, médiation indispensable aussi : s'il s'agit de comprendre le monde physique ou social, cela passe en premier lieu par la maîtrise des instruments grâce auxquels nous avons prise sur lui. Cette opinion est couramment admise s'agissant de la langue maternelle, qui fait désormais – et à juste titre – l'objet d'une attention de tous les instants (MEN, 2002). Mais l'interaction entre le sujet apprenant et son milieu de vie, ses pairs, l'enseignant, s'opère également par le truchement d'artefacts matériels. Ces derniers incarnent une pensée, « *matérialisent le processus de conception lui-même* », à l'instar des dessins techniques qui ont conduit à leur réalisation (Brassac & Grégori, 2003, 112) ; en user implique en outre de faire siens les gestes que leurs caractéristiques physiques réclament. La transmission de ce capital culturel relève elle aussi des finalités principales d'un système éducatif.

…ou médiation par les artefacts ?

Lebeaume (1996, 33) souligne d'ailleurs que dès 1977, l'Éducation nationale met l'accent sur la fabrication d'objets, et plus encore, sur l'effet que la fabrication d'objets aura sur l'élève. Autrement dit, le processus de réalisation d'un artefact se conçoit comme une source d'apprentissages en lui-même.

C'est ce que cet article se propose d'étudier, à travers les variations du statut d'un objet : tantôt pensée hypothétique incarnée quand il s'agit de tester des solutions techniques alternatives, tantôt outil autorisant des observations empiriques qui visent à valider ces hypothèses, tantôt produit fini respectueux d'un cahier des charges reprenant les hypothèses validées.

Mais cette relation entre production d'artefacts et apprentissage demeure discutée à plus d'un titre.

travailler ensemble pour concevoir un objet

Selon Vygotsky (1985, 43), « *l'instrument psychologique se différencie fondamentalement de l'instrument technique. Le premier s'adresse au psychisme et au comportement, tandis que le second, tout en constituant aussi un intermédiaire entre l'activité de l'homme et l'objet externe, est destiné à obtenir tel ou tel changement dans l'objet lui-même* ». Comment alors imaginer tirer un bénéfice cognitif de la réalisation matérielle ? Quel(s) rôle(s) fait-on jouer à ce qui est fabriqué ? À quelles conditions les instruments techniques et les instruments psychologiques conjuguent-ils leurs effets ?

Par ailleurs, la réalisation d'objets en milieu scolaire se situe fréquemment au confluent d'activités technologiques et d'activités scientifiques. De quoi témoigne alors l'objet : d'une possibilité d'obtenir des avantages matériels ? De lois nomothétiques ? Qu'est-ce qui valide finalement sa conception ? Les deux didactiques disciplinaires sont-elles complémentaires ? Se rencontrent-elles sur des compétences communes ?

Le champ de la recherche qui s'occupe de la médiation par les instruments techniques et de son rôle structurant dans le

développement du sujet reste peu exploré (Vérillon & Rabardel, 1995, 96). Pourtant, les formes de rationalité et d'objectivité invoquées lors de telles activités requièrent toute notre attention ainsi que les discours oraux et les représentations, iconiques ou symboliques, produits pour les penser et les retravailler en commun (Martinand, 1998, 273). Nous nous centrons dans notre étude sur l'analyse de moments de travail collaboratif, dans le but d'en saisir la dynamique d'évolution, croisant les progrès cognitifs obtenus lors de la conception d'un objet avec les influences sociales qui s'exercent au sein d'une classe (pour un travail analogue portant sur un groupe d'ingénieurs experts, voir Brassac & Grégori (2003)). Mais nous voudrions auparavant approfondir la définition de certains concepts juste entrevus dans ce qui précède.

une dynamique sociale

2. OBJETS, ARTEFACTS, INSTRUMENTS

2.1. Les artefacts

Il semble en effet opportun de réfléchir aux spécificités du rapport de l'apprenant avec les objets fabriqués. Et ce, par contraste avec les enseignements qu'il peut retirer du contact avec le monde naturel. Cette opposition est cependant rarement prise en compte par les paradigmes qui actuellement dominent dans le champ de la psychologie (Vérillon & Rabardel, 1995, 80). Et pourtant : contrairement à la *nature* chère à Rousseau, la fusée à eau qui nous servira à étayer notre thèse a une histoire qui témoigne de l'évolution d'une pensée. Et c'est justement, d'un tir à l'autre, l'élaboration de cette histoire par la classe qui est le moteur de l'apprentissage. Les phénomènes empiriques sur lesquels les élèves se basent pour valider leurs hypothèses de construction ne sont plus simplement observés et subis, mais au contraire provoqués, maîtrisés, faisant l'objet de conjectures méthodiquement formulées. Les états successifs des séries de fusées qui ont été lancées (voir ci-dessous) scandent les étapes de la progression de la classe. On peut donc supposer dans ces conditions que le développement cognitif présente un visage particulier quand il emprunte la voie de la conception d'un artefact.

les artefacts ont une histoire

Rabardel (1995, 59) définit ce dernier comme « *toute chose ayant subi une transformation, d'origine humaine (…), susceptible d'un usage, élaborée pour s'inscrire dans des activités finalisées* ». Et il range dans cette catégorie à la fois des objets matériels et des systèmes symboliques. Ce point de vue nous éclaire sur la nuance qui existe, par exemple, entre un caillou que l'on ramasse au hasard pour enfoncer un clou, et un marteau créé spécifiquement pour ce même usage. L'objet manufacturé présente un agencement de propriétés recherchées (commodité de l'usage, tant dans la préhension

que dans la percussion), qui anticipe les fonctions qui seront actualisées par l'utilisateur (Andreucci, Froment & Vérillon, 1996, 184). Rabardel (1995, 9) va d'ailleurs jusqu'à parler d'objets non plus techniques, mais anthropotechniques, « *c'est-à-dire pensés, conçus en fonction d'un environnement humain* » : le manche d'un marteau présentera un profil adapté à la main. L'exemple des bicyclettes construites sur mesure pour les athlètes illustre bien ce souci d'ajustement maximal des caractéristiques du produit à la morphologie et aux attentes de l'utilisateur. Cette volonté d'intégration des contraintes ne s'arrête même pas au seuil de l'individu, puisque plusieurs machines sont mises à la disposition du coureur, une sélection de second niveau s'opérant au vu du profil du parcours.

les artefacts orientent leur utilisation

L'artefact, en ce qu'il oriente son usage futur, est comparable à un texte, qui lui aussi contient les instructions nécessaires à sa lecture : « *Un texte est un produit dont le sort interprétatif doit faire partie de son propre mécanisme génératif ; générer un texte signifie mettre en œuvre une stratégie dont font partie les prévisions des mouvements de l'autre* » (Eco, 1985, 65). Ces deux types de réalisations humaines tentent de répondre aux intentions préalables de leurs auteurs, traduites en un cahier des charges en ce qui concerne l'objet technique, ou codifiées dans un genre littéraire dans le cas de la production écrite.

L'enjeu de la tâche proposée aux élèves dans la séquence d'apprentissage observée sera ainsi de réaliser « *la fusée qui vole le plus haut* », grâce à une recherche de l'optimisation des moyens mis à disposition. La classe se trouve placée dans une situation de résolution de problème, et l'artefact finalement produit concrétise la solution retenue : un phénomène physique aura chemin faisant été identifié puis maîtrisé, à l'échelle d'élèves de l'école élémentaire, un nouveau rapport au monde étant instauré grâce à l'objet. Ce processus de médiation est comparable à ce qui s'observe dans le cas du langage : les artefacts élargissent le répertoire des actions qui nous sont permises, et, « *parallèlement, ce rapport impose de nouvelles contraintes à l'activité cognitive, au niveau de la prise d'informations, des anticipations, des opérations, des objets de pensée à mobiliser, des schèmes moteurs à générer, etc.* » (Andreucci, Froment & Vérillon, 1996, 183). C'est ce que nous tâcherons d'illustrer ci-dessous.

définition de la tâche

L'idée que les artefacts ne doivent pas être considérés comme des objets, mais dans la façon dont ils médiatisent un usage apparaît progressivement : « *L'homme doit effectuer à l'égard (des outils) une activité pratique ou cognitive qui réponde de façon adéquate à l'activité humaine qu'ils incarnent, c'est-à-dire qu'elle doit reproduire les traits de l'activité cristallisée (cumulée) dans l'objet* » (Rabardel, 1995, 59). C'est cet aspect, là encore spécifique aux objets fabriqués par opposition aux objets naturels, qu'il nous faut maintenant approfondir.

2.2. Les instruments

Que l'on pense par exemple à certaines pièces que l'on peut contempler dans les vitrines de nos musées : l'artefact a survécu au temps, il est là, présent devant nous, mais l'usage en a été oublié. Quelle était sa fonction (politique, religieuse…) ? Quelles actions servait-il à accomplir ? Quels gestes y étaient nécessaires ?

des schèmes d'usage sociaux

En situation d'apprentissage, cette remarque prend tout son sens : présenter l'objet n'est rien, il faut en transmettre l'emploi ; autrement dit, concevoir un artefact, c'est dans le même mouvement décider comment on s'en servira.

Ce qui nous amène à préciser le concept d'instrument. « *Un instrument est formé de deux sous-systèmes : en premier lieu, d'un artefact, matériel ou symbolique, produit par le sujet ou par autrui ; deuxièmement, d'un ou plusieurs schèmes associés, résultant soit de constructions propres au sujet, soit de l'appropriation de schèmes sociaux préexistants* » (Vérillon & Rabardel, 1995, 87).

La simple mise en contact d'apprenants et d'objets manufacturés ne débouche donc pas automatiquement sur des progrès cognitifs ; l'intention qui a présidé à leur fabrication doit être réélaborée par les sujets, la manière dont ils organisent la médiation entre l'utilisateur et le monde doit être redécouverte ; à chaque élève de s'approprier les schèmes nécessaires à ce que l'instrument rende efficacement les services que l'on est en droit d'attendre de lui.

De la même façon, ce n'est que quand la classe perçoit l'intérêt de concevoir un dispositif assurant la médiation entre un projet encore virtuel et l'objet qui le réalisera, qu'un instrument, matériel ou symbolique, pourra être imaginé par elle ou pourra lui être proposé par l'enseignant. Intention, artefact et façon de faire sont intimement liés, l'instrument devient « *un moyen de capitalisation de l'expérience accumulée* » (Rabardel, 1995, 91).

l'objet comme Interprétant logique final

Nous avons comparé plus haut objets fabriqués et textes ; nous pouvons à présent préciser cette analogie. « *Être prêt à agir d'une certaine façon dans des circonstances données et quand on y est poussé par un mobile donné, voilà ce qu'est une habitude* ». Peirce, dans ce texte de 1906 (1978, 132), définit de la sorte ce qu'il nomme « *l'interprétant logique final* », qui met un terme pragmatique à une chaîne sémiosique en droit infinie. Pour lui, tout signe déclenche chez son récepteur un processus interprétatif, qui se traduit en signe à son tour, et ainsi de suite, sans qu'un terme puisse être apporté à cette prolifération du sens.

L'instrument, dans l'acception qui en a été retenue ci-dessus, présente bien les caractéristiques de l'habitude : un discours (oral, écrit, schématisé…) a été tenu à son propos au moment de sa conception, des choix ont été opérés en fonction du contexte de son utilisation future, pour répondre à des finalités précises. Les décisions prises par ses concepteurs (le groupe classe dans l'exemple que nous développerons), qui

marquent la clôture (parfois provisoire) de la discussion, se traduit à la fois dans le processus d'instrumentalisation, qui vise la transformation de l'artefact, et dans le processus d'instrumentation, relatif au sujet, à travers l'émergence et l'évolution des schèmes d'utilisation (Rabardel, 1995, 12).

On retrouve bien là les caractéristiques que Vygotsky reconnaissait aux instruments psychologiques (langage, symboles algébriques, schémas…) : il s'agit toujours d'élaborations artificielles et sociales, et non organiques ou individuelles (1985, 39). Les séquences d'apprentissage viseront à favoriser ces moments de construction d'outils de médiation, à travers les interactions avec autrui et avec les objets.

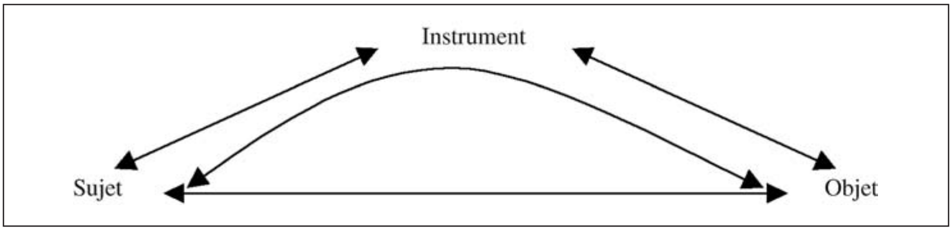
distinguer l'Instrument de l'Objet

Objet, artefact, instrument : les statuts de ces éléments diffèrent relativement au rôle qu'ils jouent dans le processus d'apprentissage. Ce qui est une conséquence directe du modèle triadique retenu à la fois par Vygotsky et par Peirce : le langage, les outils assurent la médiation entre le sujet et le monde. Dans ce cadre, les *stimuli* que perçoit le sujet peuvent être réinvestis de deux manières complémentaires : soit comme émanant de l'objet lui-même, vers lequel est dirigée la manifestation comportementale du sujet à qui un problème est posé ; soit comme provenant de l'instrument à l'aide duquel le sujet contrôle et réalise les opérations psychologiques nécessaires pour la résolution de ce problème (Vygotsky 1985, 41). Un même objet est susceptible d'occuper successivement l'une et l'autre de ces positions.

On sort ainsi du rapport dyadique stimulus / réponse de la psychologie behavioriste, et la médiation par l'instrument ouvre un espace de liberté, transforme le déroulement des processus psychiques : la théorie peircéenne des chaînes sémiosiques invite l'enseignant à laisser se développer la réflexion (verbale, symbolique, puis matériellement incarnée) de l'apprenant (Weisser, 1998) ; l'exploration du champ des possibles devenant plus efficace encore par le biais des interactions sociales.

Dans le cadre particulier de la technologie, Rabardel (1995, 66 et 90), Vérillon et Rabardel (1995, 85) spécifient cette approche triadique par le modèle SAI (Situations d'Activités Instrumentées) qui met en scène les relations entre sujet, objet et instrument :

Schéma 1. Modèle SAI (situations d'activités instrumentées)



médiation épistémique, médiation pragmatique

Les auteurs de ce schéma soulignent l'existence de deux formes de médiation par l'instrument : la première, de l'objet vers le sujet, est de type épistémique, l'instrument étant un moyen qui permet la connaissance de l'objet par le sujet ; la seconde, de sens inverse, manifeste un processus pragmatique dans lequel l'instrument est un outil de transformation, de contrôle ou de régulation de l'objet par le sujet.

Nous verrons dans ce qui suit qu'un même artefact matériel fabriqué par la classe occupe tantôt la position d'objet, tantôt celle d'instrument, et que sa conception progressive et méthodique nécessite chemin faisant l'intervention d'autres instruments encore.

3. ÉTUDE EMPIRIQUE

3.1. Dispositif didactique

une compétence d'ordre méthodologique

Il convient tout d'abord de situer les interactions observées par rapport à l'ensemble de la séquence d'apprentissage (CM1, c'est-à-dire des enfants de 9-10 ans, fin du deuxième trimestre). L'intention pédagogique relève de ces « *activités d'exploration, d'essai et d'expérimentation* » dont Lebeaume (1996, 13) nous signale l'existence dès les débuts de l'enseignement de la technologie : « *expérimenter n'est pas faire fonctionner un appareil ou un objet technique, mais étudier sur un montage approprié, conçu et créé par nous, l'influence des facteurs qu'une hypothèse, fruit de l'observation préalable, aura permis d'émettre* » (*ibid.*, 15). Et de fait, le tir de la première série de fusées à eau n'a d'autre but que de faciliter à la classe le repérage des variables éventuellement pertinentes eu égard à l'effet recherché : faire voler un engin le plus haut possible. La discussion qui suit montre que les élèves savent dans ces circonstances « *imaginer une expérience faisant varier une seule variable (…) en concevant un montage nouveau* ». Pour Martinand (1985, 80), cet objectif relève des « *méthodes spécifiques des activités scientifiques* », les rubriques suivantes regroupant les objectifs conceptuels physiques puis les objectifs conceptuels technologiques. Nous serions donc à l'intersection de ces deux disciplines, ce qui a son importance relativement au statut de l'objet et aux arguments valides, nous y reviendrons. Notons pour finir ce cadrage initial que les instructions officielles du Cycle des Approfondissements (*MEN*, 2002) persistent dans cette approche transversale. Les compétences « *imaginer et réaliser un dispositif expérimental susceptible de répondre aux questions que l'on se pose* » et « *recommencer une expérience en ne modifiant qu'un seul facteur par rapport à l'expérience précédente* » appartiennent en commun aux « *sciences expérimentales et à la technologie* ».

Les élèves ont donc été invités à concevoir et à produire des fusées à eau, dans un souci d'efficacité : obtenir l'effet maximal à partir du matériel disponible. Dans le cas des artefacts manufacturés, ceux sur lesquels on étudie les fonctions élémentaires (de l'essoreuse à salade à la balance Roberval), les phénomènes physiques en jeu sont contrôlés, maîtrisés ; dans l'idéal, ils restent inaperçus de l'utilisateur. Dans la présente séquence, il n'en est rien : la fusée à eau, ou plutôt, les séries de fusées à eau successivement construites figurent toujours des objets imparfaits, en devenir. Elles restent toujours éminemment « *discutables* » (Vérillon, 2004, 175) aux yeux des élèves, puisqu'ils en sont les concepteurs. De plus, l'intérêt porté par la classe à cet objet inconnu, renforcé par la tension qui naît des moments de discussion, entretient cette envie d'essayer pour comprendre, et de construire méthodiquement les tentatives futures pour pouvoir comprendre, pour réussir à conclure en connaissance de cause sur les caractéristiques de la « meilleure fusée ». « *L'idée clé de projet, qui est au centre de toute entreprise de réalisation technique dès que celle-ci (…) soulève quelque difficulté* » indique la possibilité d'organiser des débats au sein de l'équipe chargée d'en assurer la réalisation (*ibid.*, 193).

à la recherche d'un avantage matériel

Dans la séquence étudiée, les élèves sont regroupés soit par trois quand il s'agit de construire un artefact, soit en classe entière dans les moments où on cherche à interpréter les vols observés. L'étayage par l'enseignant s'avère là indispensable pour « *inciter les élèves à mettre en œuvre les modes de contrôle habituels en sciences : la cohérence, la systématicité, l'expérimentation qui permet la confrontation des prédictions aux données de l'expérience, ainsi que la confrontation des idées par une recherche d'un accord interpersonnel* » (Franceschelli et Weil-Barais, 1998, 212).

Et nous dirons avec Lenoir (1996, 240) que cette médiation est double : cognitive à un premier niveau, quand on considère les relations matérielles et symboliques que l'élève entretient avec l'artefact (relation sujet / objet dans le modèle SAI) ; didactique aussi, quand l'adulte intervient pour faciliter cette relation, par l'introduction d'instruments pertinents (relation sujet / instrument / objet dans le modèle SAI).

médiation cognitive, médiation didactique

En termes sémiotiques, on dirait que l'enseignant, par les signes qu'il émet (consignes ; modération du débat ; mise à disposition d'outils…), amène l'élève à modifier le discours par lequel il exprime sa compréhension de l'objet.

C'est donc à une « *clinique de l'activité cognitive accomplie par les acteurs dans une situation de conception* » (Brassac et Grégori, 2003-102) que nous convie l'analyse des interactions entre élèves. Ces derniers constituent au fil du temps une communauté discursive, formée autour d'une pratique sociale particulière, à savoir la construction de connaissances par l'expérimentation. Y appartenir suppose « *un usage*

partagé d'un certain nombre d'outils, et l'intrication des technologies matérielles, des sociabilités et des technologies discursives » (Bernié, 2002, 78), des buts communs explicites, des mécanismes d'interaction, un vocabulaire partagé, le degré d'expertise requis (Swales, 1990, 24-27). Au sein d'une telle communauté, on va donc s'accorder progressivement sur la signification des discours échangés, sur la pertinence de ces discours eu égard aux phénomènes dont on cherche à rendre compte, et sur les manières de relier discours et objet que le groupe reconnaît comme valables. L'enseignant veille à ce que, d'abord, les énoncés ne restent pas ambigus mais fassent l'objet d'une explicitation en cas de besoin, à ce que, ensuite, les propos tenus soient en adéquation avec ce qui aura été observé, pour, finalement, amener la classe à prendre conscience de l'existence d'une méthode expérimentale transférable à d'autres situations.

s'affilier à une communauté discursive

Quelle sera finalement la trame de la séquence d'apprentissage ?

- L'enseignant expose le mode de lancement d'une fusée à eau ; les élèves ont pour consigne de dessiner le schéma de la fusée qu'ils construiront par groupes de trois, en respectant les contraintes énoncées précédemment.
- La première série de fusées est réalisée et présentée à la classe ; on les compare en insistant sur leurs caractéristiques. Un tir évalue les hauteurs atteintes.
- La discussion qui s'ensuit a pour but d'identifier « *la meilleure fusée* » : les élèves concluent à l'impossibilité de trancher, étant donné que les objets ont été construits sans aucune méthode ; ils décident d'organiser un autre tir avec une nouvelle série d'artefacts conçus plus systématiquement.
- Second tir : une nouvelle discussion permet de vérifier l'intérêt qu'il y a eu de traiter séparément toutes les variables, et débouche sur un accord quant à la description de l'engin le plus performant. La séquence s'arrête à ce stade de l'identification du prototype le plus efficace. La construction en série n'est pas envisagée.
- Une dernière phase d'évaluation demande aux élèves de concevoir une méthode de construction de sabliers.

le dispositif didactique

Ce dispositif didactique fait ainsi alterner des moments de construction et d'utilisation d'artefacts avec des épisodes de discussion, d'analyse critique de ces mêmes objets. Il est conforme en cela à la définition que Flageul et Coquidé (1999, 45) retiennent de l'expérimentation, y incluant notamment « *la réfutation, la mise en débat et la conviction des pairs* » dans le travail de preuve. Nous passerons successivement d'un mode didactique de familiarisation à une investigation empirique (Coquidé, 1998, 113), soit d'une expérimentation-action renvoyant à une commande par la situation, à une expérimentation-objet, soumise à un protocole explicite (Astolfi, Peterfalvi & Vérin, 1998, 110).

3.2. Les vertus pédagogiques de l'échec

analyser le perçu

Notre analyse des interactions au sein du groupe classe se centre tout d'abord sur la discussion qui suit le premier tir. L'enseignant (premier tour de parole du maître noté 1 M) fixe le thème du débat, dans cette première tâche d'étayage que Bruner (1983, 277) nomme l'enrôlement (1) : « *Nous venons de lancer les fusées. Et nous allons discuter maintenant pour savoir ce qui est important pour que la fusée monte le plus haut possible. Vous avez inscrit sur vos fiches les hauteurs atteintes par les différentes fusées. Vous avez devant vous l'exposition des fusées, de la numéro 1 à la numéro 12. Dites-moi ce qui à votre avis est important pour que la fusée monte le plus haut possible.* » (1 M)

Pour répondre à cette intervention-initiative, les élèves vont s'ingénier à proposer des liens entre le phénomène observé (la hauteur atteinte par chacune des douze fusées) et les caractéristiques respectives des engins. La présence d'un artefact au centre du débat a en effet des vertus structurantes (Rabardel, 1995, 13) : le champ des possibles ouvert au dialogue est à la fois délimité par l'objet en question et ordonnancé par ses traits distinctifs.

2 Benjamin :	*Mettre un peu moins d'eau.*
3 Joanna :	*Ne pas trop mettre d'eau, comme la numéro 10. On avait mis 25 cm d'eau, et elle n'est pas montée.*
4 Morgan :	*Oui, je suis d'accord avec Joanna, il ne faut pas mettre beaucoup d'eau. Peut-être entre 20 et 25 cm, parce que sinon, ça ne monterait pas ; ça ne montera*

des coalitions entre locuteurs

Le premier élève propose de s'intéresser à la quantité d'eau embarquée ; celle qui lui succède manifeste sa compréhension et son approbation en reformulant le propos précédent : la thématisation est adoptée, elle est même étayée par un exemple. Enfin, un troisième locuteur s'associe explicitement à la coalition qui est en train de se former : tous s'accordent sur la pertinence de la variable *quantité d'eau.*

6 Florine :	*Aussi, il faut mettre des petits ailerons. Parce que la fusée n° 6 en a beaucoup, et puis ils sont assez grands.*
7 Dimitri :	*Ben ouais, sur la 10, ils sont assez grands, les ailerons.*
8 Teddy :	*Moi, j'ai vu : il faut que le vent, il puisse passer sur les ailerons, ici. Il faut que le vent, il passe, au moins un petit peu. Alors, ça va un petit peu plus haut.*

Après une reprise à l'identique par l'enseignant (5 M : « *La numéro 10, c'est la seule qui est restée au sol.* »), une nouvelle coalition se crée autour d'un autre élément définitoire, ou du

(1) Nous retrouverons les modalités de l'étayage selon Bruner tout au long de cette étude.

moins conçu comme tel à ce moment du processus d'apprentissage, les ailerons, caractérisés par leur nombre et par leur taille. 6 Florine introduit le sujet, s'appuyant implicitement sur un résultat de l'observation : la fusée n° 6 n'a pas volé bien haut. 7 Dimitri acquiesce et renforce la thèse de sa camarade par un deuxième exemple.

un échec prévisible

Relevons au passage que la fusée n° 10 souffre désormais de deux défauts rédhibitoires : trop d'eau, trop d'ailerons. Il est d'ores et déjà possible de prévoir que la classe ne pourra pas départager l'effet de ces variables potentielles.

8 Teddy va plus loin : il avance une explication de la relation entre taille des ailerons et hauteur atteinte.

62 Cyrielle :	*Ben la 9, elle n'avait pas de décorations, elle.*
63 M :	*Ah tiens, les décorations : on n'en avait pas encore parlé.*
64 Nathalie ::	*Les décorations, il y a pas tellement de différences.*
65 Bastien :	*Mais par exemple à la 3, les décorations, elles ne sont pas collées à la bouteille. Euh… elles dépassent. Comme la bouteille est ronde et les décorations plates, elles dépassent. Elles empêchent l'air de passer.*

Le même mouvement s'observe sur ces quatre interventions consécutives : une nouvelle propriété de l'artefact est repérée (les décorations), reprise et confirmée, pour faire ensuite l'objet d'une tentative d'explication (là encore en termes d'aérodynamisme). L'artefact autorise une approche modélisante de phénomènes physiques, il est un instrument qui en facilite la compréhension, ou du moins, l'appréhension.

s'accorder sur une partition de l'artefact

Nous venons d'observer là un premier mouvement au fil de la discussion : le groupe des interlocuteurs met progressivement en mots une partition de l'artefact, qui manifeste un processus de décomposition hiérarchique (Mounier & Bisseret, 2001, 364) selon le point de vue retenu. Si certains détails sont évoqués, c'est qu'on estime qu'ils ont quelque chose à voir avec le projet de la classe ; si ces thématisations sont reprises ensuite dans le discours d'autres énonciateurs, c'est qu'ils se rallient à cette idée. Et le groupe finit par s'accorder sur une description type de la fusée : la coréférence est construite collectivement quand on nomme ce qui est digne d'attention eu égard à l'avantage recherché. L'analogie artefact / texte est une nouvelle fois patente : l'objet pourra ultérieurement être reconstruit avec les mêmes opérations qu'une séquence textuelle descriptive, par ancrage (dénomination), par aspectualisation (repérage des qualités et des parties de l'objet), par enchâssement (une partie pourra à son tour faire l'objet d'un processus d'aspectualisation : Adam, 1993, 85).

Il convient dans un second temps de suivre à la trace les retours en arrière, les amalgames, les résurgences thématiques :

Tableau 1. Alternance des thématisations

Tour de parole	Partie de l'artefact	Qualité de la partie
2	Eau	Quantité
6	Ailerons	Taille
11	Ailerons	Nombre
15	Eau	Quantité
18	Ailerons	Nombre et taille
25	Eau	Quantité
31	Eau, ailerons	Quantité ; taille
47	Ailerons	Forme
54	Eau, ailerons	Quantité ; taille et position
62	Décorations	Présence / Absence
66	Ailerons	Taille et position
69	Ailerons	Nombre
70	Décorations	Présence / Absence
75	Coiffe	Présence / Absence
85	Bouteille	Type

Deux remarques s'imposent :

Tout d'abord, il est clair que la discussion passe, très aléatoirement, d'une (éventuelle) variable explicative à une autre, pour revenir ensuite à son point de départ. Rien n'est jamais acquis, chaque argument empirique peut être contredit par un autre :

70 Alexis :	*En fait, les décorations, ça change rien, parce que la 9, elle est montée plus haut et elle n'avait pas de décorations. La 7, elle n'en a pas non plus, et elle n'est pas montée très haut.*
71 Laura :	*C'est peut-être à cause des décorations, parce que la 5, elle est quand même allée haut, avec les décorations.*

Si le discours de la classe fait appel aux mêmes opérations linguistiques qu'une séquence descriptive, il n'y a pas encore à proprement parler de mise en texte : les éléments décrits restent épars ; l'enseignant ne cherche pas à canaliser étroitement l'activité scientifique de la classe, il laisse une part à l'imagination (Astolfi, Peterfalvi & Vérin, 1998, 91), et plus encore, à la décision, à l'exploration, dans une volonté de ne pas tout baliser d'emblée.

vers une méthode systématique

Ensuite, vers la fin du passage cité, les élèves montrent une première tendance à la systématisation de leur approche : en l'espace de quelques tours de parole apparaissent successivement trois nouvelles caractéristiques, dans une sorte de volonté d'épuiser la description de l'artefact. On passe alors d'un tir à l'autre d'expériences « *pour voir* » à des expériences « *pour prouver* » (Astolfi, Peterfalvi & Vérin, 1998, 94), et même, « *pour valider* » la démarche méthodique de séparation des variables.

Ce premier épisode tend donc vers sa conclusion ; mais de façon asymptotique dirons-nous… En effet, le tour de parole 90 revient sur la quantité d'eau, l'intervention 94 sur les ailerons. L'infléchissement vers une problématique nouvelle est décidé par l'enseignant :

95 M :	*Peut-être… Mais comment pourrions-nous faire pour construire les nouvelles fusées, pour pouvoir dire après, c'est à cause de ça que ça vole plus haut ? Ou c'est à cause d'autre chose.*
[…]	
102 M :	*On dit toujours peut-être… Comment pourrions-nous nous arranger pour décider ?*

première formulation du principe de séparation des variables

C'est la résistance du réel (Coquidé, Bourgeois-Victor & Desbeaux-Salviat, 1999) qui empêche les élèves de conclure après le premier tir. Dans cette phase, l'enseignant ne va pas chercher à réduire la frustration (Bruner, 1983, 277-279), mais plutôt à l'accroître : on ne peut pas conclure, même si on en a très envie. C'est la tension didactique qui naît de la confrontation à la fois avec les phénomènes empiriques et avec les pairs qui pousse chacun à se remettre au travail de façon à pouvoir observer séparément l'effet propre de chaque variable (le repérage des caractéristiques déterminantes chez Bruner).

La demande de l'enseignant est reprise (et donc comprise) par Bastien et Nathalie :

104 Bastien :	*Ben par exemple, on va faire plusieurs lancements. D'abord on en fait un tout pareil, sauf pas la même bouteille. Après on fait tout pareil, sauf pas les mêmes ailerons. Et puis après, pas pareil d'eau.*
105 Nathalie :	*Sinon on peut faire… ouai… tout pareil. Pas tout pareil, par exemple, deux ou trois pareilles, avec des bouteilles différentes ou des choses comme ça. Mais pas tout pareil, parce que sinon…*

Ces deux élèves commencent à imaginer le principe de traitement séparé des variables, « *toutes choses égales par ailleurs* » ; à leur suite, la classe va concevoir la nécessité d'un instrument qui assure la médiation entre son projet (isoler les variables pour pouvoir conclure quant à leurs vertus explicatives) et l'artefact qui le réalisera (un nouvelle série de fusées enfin comparables) :

112 Florine (« *Sinon, pour avoir tous les résultats, on pourrait se mettre d'accord pour ce qu'on va faire. Et puis par groupe… on aura chacun bien une fusée différente* ») propose un mode d'organisation : chaque groupe de trois ne va plus concevoir sa propre fusée sans tenir compte des autres groupes ; il va falloir d'abord se concerter pour faire varier systématiquement les caractéristiques retenues dans la partition de l'objet. Désormais, les fusées « *feront texte* », c'est-à-dire qu'elles se répondront les unes aux autres par-delà la discontinuité matérielle.

du principe à sa mise en scène

On retrouve en effet à travers la nouvelle série d'artefacts les liens constitutifs de tout discours. D'une part, des possibilités de commutation paradigmatique : chacune des caractéristiques des fusées peut se voir attribuer des valeurs différentes (trois, quatre, six ailerons ; 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm d'eau etc.). D'autre part, des arrangements syntagmatiques : la combinaison des valeurs privilégiées des différentes variables s'incarne dans « *la meilleure fusée* ».

De plus, ce que l'on pourrait appeler l'énonciateur n'est plus chaque groupe de trois élèves, qui s'investissaient presque affectivement lors du premier tir de leur fusée, mais la classe

prise dans son ensemble comme communauté discursive, qui s'est accordée finalement sur une techno-logie (principe explicite de fabrication d'une série d'artefacts) et sur les rapports sociaux idoines (partage de la responsabilité entre tous). Mieux même : les élèves ont examiné (ou plutôt, pensent sincèrement avoir examiné) toutes les options possibles, méthodiquement. Ils jugent par conséquent leur discours recevable par tout un chacun, même hors de l'école, par cet auditoire universel que vise tout discours rationnel.

tentative d'application

123 Nathalie (*« On fait des ailerons de taille différente sur chaque bouteille. Et puis on met des hauteurs différentes sur chaque bouteille, pour voir si c'est l'eau, ou… »*) effectue un pas de plus dans la concrétisation du projet. Elle décide de l'ordre dans lequel les variables seront étudiées : d'abord quelques fusées différant par la taille des ailerons (et seulement cela), puis quelques autres par lesquelles on étudiera l'effet de la quantité d'eau, etc.

L'enseignant (124 M : *« Essayons d'avancer : je vais faire ce que propose Nathalie. En mettant des numéros à nos nouvelles fusées. Fusée n° 1 : comment allons-nous la construire ? Qu'est-ce que vous proposez ? Je vous écoute. »*) tend à structurer cette avancée en l'écrivant au tableau. Ce premier exemple est mis au point tout au long de l'échange suivant :

125 Cyrielle :	*Ben… euh…quatre grands ailerons. (M écrit sous la dictée)*
126 Florine :	*20 cm d'eau.*
127 Teddy :	*De petits ailerons… Non : une coiffe.*
128 M :	*Et la 2 ?*
129 Marion :	*Deux grands ailerons et deux petits ailerons. 15 cm d'eau. Une coiffe.*
130 M :	*Supposez maintenant que la 1 monte plus haut que la 2 : à cause de quoi sera-t-elle montée plus haut ?*
131 Hélène :	*Peut-être à cause des ailerons.*
132 Alexis :	*Mais on ne peut pas savoir. Parce que… dans une, il y a 15 cm d'eau, dans l'autre 20. Seulement dans une, il y a quatre grands ailerons et dans l'autre deux grands et deux petits. Donc en fait on ne pourra pas savoir si c'est l'eau ou les ailerons.*
133 M :	*Comment peut-on faire alors, pour savoir ce qui est important ?*
134 Alexis :	*Par exemple, on met quatre petits ailerons dans la deuxième, et 20 cm d'eau. Alors, on verrait si ce sont les ailerons ou pas. (M modifie)*
135 Marion :	*Ben, on va essayer toutes les solutions qu'on a dit, et puis si ça marche…*
136 M :	*La n° 1 : 20 cm d'eau, quatre grands ailerons et une coiffe. La n° 2, quatre petits ailerons, 20 cm d'eau et une coiffe. Si là, la 1 monte plus haut que la 2, qu'est-ce que nous aurons prouvé ?*
137 Benjamin :	*Ce sera à cause des ailerons.*
138 M :	*Ce ne sera pas à cause de l'eau ?*
139 Benjamin :	*Non, parce que toutes les deux ont les mêmes centimètres.*

Comme on le voit, la conception de ces deux premières fusées contrastées nécessite un étayage important de la part de l'enseignant basé sur une simulation de résultats (130 M ; 136 M). Les épisodes suivants vont progressivement laisser plus de latitude aux élèves ; mais la nécessité d'une confrontation entre apprenants perdure.

un instrument pour concevoir un artefact

En 157 M, l'enseignant introduit un instrument symbolique, le tableau de variables, pour y noter les premières décisions prises et pour permettre à la classe de systématiser son approche exploratoire. Un tableau différent (cf. tableaux 2 et 3) est dressé pour chaque variable testée. « *Le tuteur comble les lacunes et laisse le débutant mettre au point les subroutines constitutives auxquelles il peut parvenir* » (Bruner, 1983 , 277-279) dans les moments de réduction des degrés de liberté. (2)

Tableau 2. Variable : quantité d'eau

Fusées	E1	E2	E3	E3
Taille des ailerons	Petits	Petits	Petits	Petits
Nombre d'ailerons	4	4	4	4
Type de bouteille	Lisse	Lisse	Lisse	Lisse
Quantité d'eau	5 cm	10 cm	15 cm	30 cm

Tableau 3. Variable : taille des ailerons

Fusées	T1	T2
Taille des ailerons	Grands	Petits
Nombre d'ailerons	4	4
Type de bouteille	Lisse	Lisse
Quantité d'eau	10 cm	10 cm

Le mode d'emploi de cet instrument, reproduit dans sa version finale ci-dessus, va être rappelé à plusieurs reprises :

193 Hélène : *Ben, il faut pas mettre… les changer, parce que sinon, on peut pas voir si la bouteille ça a à voir… Il faudrait mettre 5 cm et 5 cm aussi, pour voir si c'est les bosses… ou les bouteilles lisses qui changent.*

[Variable : le type de bouteille, la quantité d'eau étant fixée]

197 Dimitri : *Ben, comme elle a dit Nathalie pour les centimètres, on saura jamais pour les bouteilles.*
198 M : *Donc il faudrait mettre quatre petits partout.*
199 Bastien : *Qui est-ce qui a compris ce qu'a dit Dimitri ?*
Mais en fait, il faudrait qu'y a quatre petits aussi, parce que sinon, on ne va pas savoir si c'est la lisse ou celle à bosses.

[Variable : le type de bouteille, le nombre et la taille des ailerons étant fixés]

203 Alex : *Parce que les ailerons et les centimètres d'eau, c'est la même chose aux deux fusées. Que pas comme la bouteille : la bouteille, elle est à bosses, ou bien elle est lisse.*
Parce que tout le reste, c'est pareil.
204 Stéphane : *Oui, voilà. Si la bouteille, si elle est lisse, si elle monte plus haut, ben ça voudra dire*
205 Nathalie : *automatiquement que c'est à cause de la bouteille, parce que les centimètres et les ailerons, c'est à la même taille.*

(2) On trouvera d'autres exemples du caractère synoptique et structurant des systèmes graphiques *in* Astolfi, Peterfalvi et Vérin (1998, 140-144).

La succession de ces interventions, par leur proximité dans le temps et par la multiplicité des énonciateurs, montre comment un savoir d'ordre méthodologique est en train de naître dans la classe. Ce savoir, objet des discussions dans cet épisode conclusif du premier débat, va être stabilisé grâce à l'instrument adopté pour mettre en forme les propositions de la classe.

effet structurant de l'instrument

Comme dans le cas de la fusée, l'artefact structure la pensée de son utilisateur. Mieux même : ainsi que nous l'avions prévu au chapitre 2.2, la maîtrise d'un instrument suppose la réappropriation des schèmes d'utilisation par l'apprenant. C'est bien le cas ici : les énoncés mentionnés (193 à 205) représentent quelques maillons de la chaîne sémiosique qui va se cristalliser en « *habitude* », c'est-à-dire en ce qui nous concerne, dans une compétence méthodologique transférable.

Cet instrument symbolique n'a pu être introduit avec profit qu'après une phase initiale dans laquelle les apprenants ont négocié la signification qu'ils attribuaient à la situation-problème (Vérillon 2004, 164). Fabre (1999, 196-211) insiste bien sur l'importance de la construction des problèmes, avant toute idée de résolution, et ses relations avec les compétences argumentatives des élèves : les pousser à mettre en mots leurs observations et leurs idées contribue à délimiter un espace-problème, c'est-à-dire à imaginer non seulement une procédure de résolution mais également et en amont un mode de production et de recueil des données utiles (voir aussi Fabre et Orange, 1997).

Le tableau contient les instructions nécessaires à sa lecture (Eco 1985, 65, ci-dessus) :

concevoir les schèmes d'usage

- toutes les variables à tester figurent sur une ligne propre ;
- toutes les variables sont fixées (constantes) sauf une ;
- les valeurs successives retenues pour cette dernière (commutations paradigmatiques) engendrent autant d'artefacts comparables (arrangement syntagmatique) ;
- un autre tableau est établi pour la variable suivante (nouveaux énoncés d'un même texte).

L'objet *tableau* en lui-même n'est donc rien sans son mode d'emploi. La capacité des élèves à concevoir et lire de tels tableaux à propos de fusées à eau est testée lors de la construction de la seconde série d'engins. Leur capacité à la réinvestir en d'autres circonstances sera évaluée en fin de séquence.

Le second tir a ensuite lieu : les observations faites sur les hauteurs atteintes ne traduisent plus la simple perception d'un phénomène empirique ; elles témoignent d'une question posée à l'objet, ou plutôt à la série d'objets désormais comparables, qu'on a systématiquement déclinés « pour voir ».

3.3. Validation des hypothèses

Le second moment de débat cherche tout d'abord à valider la méthode de conception employée, puis à conclure relativement à « *la meilleure fusée* » :

du souvenir de l'échec…

« *Nous venons donc de lancer les fusées qui sont décrites sur le grand tableau de votre cahier, que vous avez sous les yeux : Ailerons1, Ailerons2, Eau1, Eau2, Eau3, Eau4, et ainsi de suite. Nous essayons maintenant de discuter pour répondre à deux questions : Pourquoi avons-nous été obligés de faire ce deuxième tir de fusées ? Puis après, mais seulement après, une deuxième question : Pouvons-nous maintenant décider pour savoir ce qui permet à la fusée de voler plus haut ? Qui est-ce qui peut nous rappeler pourquoi nous avons été obligés de lancer des fusées une deuxième fois ?* » (221 M).

Les élèves reformulent la difficulté rencontrée :

222 Dimitri :	*On était obligés de la relancer, parce qu'on savait pas comment… euh pourquoi elles allaient très loin.*
223 Cyrielle :	*Ben en fait, on était obligés de les relancer, parce qu'on ne savait pas si c'était à cause des ailerons, à cause de l'eau, à cause des bouteilles ou à cause des décorations.*
224 Vanessa :	*Moi, je dis comme Cyrielle. On était obligés, parce que au départ, on savait pas ce qui était important, l'eau, les ailerons, et puis tout ça.*

Ils prouvent de la sorte qu'à une semaine d'intervalle, le souvenir de l'échec de la discussion précédente restait présent. Ils enchaînent en marquant l'évolution de la pensée de la classe :

227 Joanna :	*Ben parce que avant, on avait fait n'importe comment, on faisait comme on pensait. Et après, on a regardé, et on a choisi.*
228 Marion :	*Eh ben aussi, on savait pas si c'était les ailerons, alors… Par exemple, il y avait des ailerons petits et grands, et on savait pas sur quelle fusée, si c'était les ailerons ou l'eau, parce qu'il y avait à chaque fois des différences d'eau, des différences d'ailerons, des différences de décorations, de bouteille…*

Ils reformulent finalement la méthode qu'ils ont élaborée :

238 Bastien :	*Parce que sur le premier, on avait inventé nos fusées comme ça. Par contre sur le deuxième, on a dit… on a dit comment on devait les faire… pour… là au moins, on a fait plusieurs fusées qui sont pareilles. Elles sont pareilles, mais il y a toujours quelque chose qui change. Pour voir ce qui est le plus important.*
239 Dimitri :	*Ben, on a d'abord fait les fusées au hasard. Et après, quand on a vu qu'il y en a une qui allait plus haut que les autres, alors on voulait savoir comment… comment elle allait plus haut.*
240 Nathalie :	*Au début, ouais, on avait… on avait fait comme on voulait. Mais après, pour savoir, on avait fait… on avait fait une chose. Par exemple pour savoir quels ailerons étaient importants, on faisait tout pareil, sauf les ailerons qu'on changeait, pour savoir. Et à chaque fois, c'était comme ça.*

…à la validation de la méthode

Que devient à la lumière de ces résultats la distinction opérée par Vygotsky entre instrument psychologique, qui concerne le comportement de l'individu, et instrument technique, qui vise à transformer la réalité (cf. 1.) ? Comme on le voit à travers les échanges cités, le progrès cognitif a été obtenu grâce à la médiation d'objets. L'une des lectures possibles de la séquence didactique est la suivante : l'idée de la nécessité d'adopter une planification méthodique et raisonnée est apparue grâce à l'analyse des performances, aléatoires, d'une première série d'artefacts.

L'objet construit sert de révélateur d'une démarche intellectuelle insatisfaisante : il va falloir le modifier, et plus encore, modifier la façon de le concevoir (accession à la combinatoire : voir Weisser et Rémigy, 2005). Mais ce travail d'ingénierie implique à son tour la médiation d'un artefact supplémentaire : le tableau de variables. De ce point de vue, ce dernier objet joue le rôle d'instrument (Vérillon & Rabardel, 1995, 80), entre un sujet (la classe comme énonciateur collectif) et un objet (la deuxième série de fusées comme artefact-texte énoncé).

C'est au demeurant ce que montre la suite de l'interaction. Il s'agit dans ce deuxième temps de stabiliser la partition pertinente de l'objet ; la classe statue alors sur la valeur idoine de la variable *« quantité d'eau » :*

250 M :	*Alors nous pouvons passer à la deuxième question : Est-ce que nous pouvons décider*
251 Hélène :	*maintenant, ce qui permet à la fusée de voler très haut ?*
252 Jessica :	*De ne pas avoir trop d'eau.*
253 M :	*Comme Hélène. Parce que si on a trop d'eau, la fusée, elle ne décolle pas.*
254 Jessica :	*On l'a bien vu sur quelle fusée, ça ?*
	Sur la E4. Avec 30 cm d'eau.

choisir le prototype le plus avantageux

La remarque d'Alexis (255) marque par sa nouvelle thématisation qu'à son avis, la question de la quantité d'eau est réglée : « *Les ailerons, il faut en faire plutôt des petits. Parce que la fusée qui est allée la plus haut, c'est la A2* ».

Le type de bouteille le plus efficace est ensuite défini :

256 Gaétan :	*La bouteille aussi. La bouteille, avec les bosses, il y a de l'air qui reste coincé. Avec la bouteille lisse, ça va mieux.*
257 M :	*Tu parles de quelles fusées là ?*
258 Gaétan :	*La fusée B1 et B2.*

L'ensemble des résultats obtenus est finalement résumé par Anthony (262) : « *Eh ben, pour les ailerons, il n'y a pas besoin de changer, parce qu'elles sont à peu près montées à la même hauteur. Par contre pour l'eau, E1, E2 et E3 sont montées à peu près à la même hauteur, la E4, non, parce qu'il y avait 30 cm d'eau. La bouteille, à la hauteur de*

l'arbre seulement, c'est parce qu'elle avait des bosses. La lisse, ça va mieux. Et puis les décorations, ben ça change rien, c'est toujours pareil. Ce qui change, c'est surtout la bouteille et 30 cm d'eau. »

La fin de la discussion (263 à 289) reprend alors systématiquement les tableaux de variables pour y marquer les valeurs à exclure. La modalité d'étayage « signalisation *des caractéristiques déterminantes* » (Bruner, 1983, 277-279) aura ainsi pu être prise en charge directement par la classe, du fait de l'âge des apprenants, du fait aussi de la construction didactique de la séquence. L'intervention de l'enseignant est par contre requise pour le passage de l'empirique au modélisé (voir plus haut, l'introduction du tableau comme instrument). La description des faits et les raisons qui les expliquent relèvent en effet de la même catégorie de l'apophantique : on peut dire de l'une et des autres qu'elles sont vraies ou fausses, par opposition à d'autres énoncés qui sont sincères ou mensongers (relativement à l'expression d'une subjectivité), ou à d'autres énoncés encore qui sont légitimes ou illégitimes (relativement à des lois socialement admises). Le passage de l'assertorique à l'apodictique nécessite donc en première approche de séparer l'accidentel de l'essentiel (rejet de variables non explicatives), avant de parvenir à un accord sur les valeurs les plus efficaces des variables finalement retenues.

s'accorder sur les caractéristiques déterminantes

L'artefact matériel prototypique a ainsi été identifié (les fusées Eau 1, Eau 2 et Eau 3 réunissent les valeurs les plus performantes ; plusieurs modèles restent en course, la classe ayant décidé que la variable « *décorations* » ne modifiait pas les performances de l'engin) ; il cristallise le savoir technique construit au cours de la séquence, même s'il n'en figure pas l'objectif principal, en traduit le système de contraintes défini en commun.

L'évaluation finale se compose de deux exercices :

de l'application au transfert

Le premier demande de reconstruire, ou de citer de mémoire, l'un des tableaux de variables imaginés collectivement. Il est réussi par vingt-trois élèves sur vingt-neuf. Le second vise au transfert de la méthode d'expérimentation à un nouvel artefact (présenté simultanément à la classe), le sablier. La difficulté s'accroît encore de l'un à l'autre si on considère que le tableau de variables est fourni vierge de toute indication. L'élève qui a rédigé le document reproduit (jugé correct) s'appuie d'ailleurs sur l'énoncé pour le libellé et l'ordre des variables. Il est de plus à l'origine du nombre de colonnes qu'il choisit d'utiliser.

Vingt élèves satisfont à ce test (voir document 1). Les six élèves en échec précédemment le demeurent, ce qui témoigne de la différence de niveau taxonomique des deux exercices. Nous avons montré ailleurs (Weisser & Rémigy, 2004) que la participation aux débats n'est pas un gage de

réussite. C'est plutôt la forme que prennent les énoncés qui apparaît comme significative : les élèves qui parviennent à prendre en charge (« *Je* », « *mon groupe* »…) et à modaliser leurs dires (« *un peu* », « *sans doute* »…), marquant ainsi le caractère relatif de ce qu'ils avancent, sont ceux qui profitent le plus de la situation d'apprentissage. On retrouve là le statut d'hypothèse de l'artefact matériel produit par la classe, son côté « discutable ».

se positionner en énonciateur responsable

Document 1. Évaluation finale

1. Invente toutes les fusées à construire pour savoir si le type de bouteille est important :

	1	2		
Nombre d'ailerons	4 petits	4 petits		
Hauteur d'eau	10 cm	10 cm		
Décorations	avec	avec		
Type de bouteille	lisse	à bosses		

2. On veut fabriquer un sablier pour mesurer des durées. On a le choix :
- du produit qui va s'écouler d'une bouteille à l'autre : sable, riz, semoule, sucre ;
- de la hauteur du produit utilisé : 5 cm, 10 cm ;
- du diamètre du trou dans le bouchon : 1 cm, 2 cm.

On veut que le temps écoulé soit le plus long possible. On se demande si le diamètre du trou est important.
Invente le tableau pour prévoir tous les sabliers à construire pour le vérifier :

1	2				
sucre	sucre				
5 cm	5 cm				
1 cm	2 cm				

4. CONCLUSION : LE STATUT CHANGEANT DES ARTEFACTS

La séquence didactique étudiée met en scène deux artefacts : l'un matériel (les fusées à eau), l'autre symbolique (les tableaux de variables).

rôle social de l'artefact

Le premier, en tant qu'objet concret, palpable, est le support d'investissement affectif : c'est la fusée de « *mon groupe* », puis de « *ma classe* ». En ce qu'il incarne un projet de fabrication, en ce qu'il est éventuellement diffusable en dehors de l'école (voir Weisser, 2001, à propos des enjeux de l'édition d'un CD ROM), il rend l'action didactique lisible à l'extérieur du système scolaire.

Mais plus que cette approche sociale, indispensable au demeurant à la motivation des élèves, c'est le plan cognitif qui nous intéresse ici.

Trois séries successives de fusées ont été nécessaires : la première, construite aléatoirement, n'a pas permis de conclure ; la deuxième, conçue méthodiquement, a débouché sur l'identification de l'exemplaire le plus performant ; la dernière regroupe les prototypes qui répondent à ce cahier des charges. C'est leur existence même qui a autorisé l'adoption d'une position *méta* ; c'est par la mise en question de leurs caractéristiques matérielles qu'un discours littéralement technologique a pu naître : l'objet incarne certains traits jugés pertinents par les élèves à un moment donné de la séquence d'apprentissage, puis il indique en retour quelles performances sont possibles dans les diverses configurations retenues.

travail collaboratif et médiation instrumentée

On peut ainsi avancer que lors des discussions à propos d'artefacts testés, les interlocuteurs « *n'*échangent *pas des idées : celles-ci* émergent *de l'interaction du fait d'une certaine tension cognitive et sociale entre eux. (…) Les activités collaboratives ne renvoient pas uniquement à une* coordination *entre les participants* » à propos de savoirs déjà présents à l'origine (Brassac et Grégori, 2003, 117).

De façon spécifique à ce qui se déroule entre ces élèves, on soulignera que l'idée de séparation des variables résulte d'une invention *ex nihilo* dans l'ici et maintenant de la confrontation. Les artefacts sont des éléments parmi d'autres du dialogue développé au sein de la classe. On passe successivement de douze engins construits au hasard à dix, puis à trois prototypes satisfaisants. La diminution du nombre de ces énoncés cristallisés dans un objet prouve l'évolution des opérations cognitives qui les sous-tendent. Les élèves parviennent à une précision du raisonnement de plus en plus grande : « *Les artefacts matériels, à l'instar des propositions discursives, sont des constructions intentionnelles, structurées, adressées à des interlocuteurs* » (Vérillon 2004, 174), et ces messages gagnent en fiabilité au fil du temps.

mesurer l'écart au but

Le processus sémiosique à l'œuvre est particulier : on ne va pas de la perception d'un phénomène à son interprétation, on n'étudie pas l'objet du point de vue de son utilisation (Andreucci, Froment & Vérillon 1996, 182). Au contraire, on commence par matérialiser dans un objet un sens préexistant qu'on teste ensuite, l'objet devenant « *un outil qui instrumente l'activité* » (*ibid.*). Suit une discussion portant sur l'écart au but. La modification de l'artefact et surtout de son mode de conception s'impose. Cette nouvelle pensée est à son tour incarnée, engendrant quelques fusées inédites, jusqu'au modèle le plus performant, qui interrompt la chaîne interprétative.

Ce progrès cognitif s'obtient par la médiation d'un second artefact, instrument symbolique, le tableau de variables : il

sert, à son tour, à matérialiser les propositions des apprenants. En tant qu'instrument, ses schèmes d'utilisation structurants leur permettent d'avoir prise sur l'artefact-objet fusée. Mais la relation sujet / instrument / objet n'est pas aussi simple qu'il y paraît au premier abord. Il est certain que la fusée à son tour, par la mise en relation (impossible) de ses caractéristiques et de ses performances, devient un instrument qui rend le jeune élève capable de construire petit à petit ce que devra être le tableau de variables : ses caractéristiques physiques (autant de lignes que de variables ; autant de colonnes que de valeurs pour la variable étudiée), ses schèmes d'utilisation (une seule variable varie, « *toutes choses égales par ailleurs* »).

tune dialectique Objet/Instrument

C'est donc une relation dialectique fusée à eau / tableau de variables qui s'instaure, chaque artefact, matériel ou symbolique, étant tour à tour objet que l'on construit, modifie, teste, et instrument par la médiation duquel on agit sur l'objet (Rabardel, 1995, 197 ; Vérillon & Rabardel, 1995, 96).

Dans quel champ disciplinaire replacer finalement cette activité de fabrication d'objets matériels ?

Durey et Vérillon (1996, 3), illustrant l'unité et la diversité de l'enseignement de la technologie, insistent sur l'idée que le point de vue technique est « *souvent scientifiquement armé* » quand il cherche à optimiser les phénomènes dont les artefacts sont le siège.

Il est apparu dans ces lignes qu'une méthode expérimentale n'est sans doute pas à réserver aux sciences du même nom. Et de fait, de nombreuses innovations techniques ont précédé la constitution des connaissances scientifiques impliquées ; que l'on pense entre autres exemples à la métallurgie de l'époque préhistorique, à l'habileté des alchimistes, aux médecines traditionnelles… Ce type de démarche méthodique est par conséquent tout à fait recevable dès qu'il s'agit de vérifier une hypothèse, quelle que soit sa nature (Martinand, 1986, 211), la conjecture devenant plus signifiante encore aux yeux des élèves quand elle légitime des procédés de fabrication (*ibid.*, 135).

à la croisée des disciplines

Les apprenants ne s'y trompent pas d'ailleurs : les « *caractéristiques externes* » (Lebeaume, 2000, 199) des activités scientifiques et technologiques sont semblables dans cette classe, même plage horaire, même cahier d'expériences ; mais cela ne les a pas empêchés d'avoir recours ici à des arguments fondés sur « *un projet pragmatique d'avantages matériels* » (Vérillon, 2004, 171) plutôt que sur l'énonciation de propositions explicatives.

Marc WEISSER
Laboratoire interuniversitaire des sciences de l'éducation et de la communication
Université de Haute-Alsace
M.Weisser@uha.fr

BIBLIOGRAPHIE

ADAM, J.-M. (1992). *Les textes : types et prototypes.* Paris : Nathan.

ANDREUCCI, C., FROMENT, J.-P. & VÉRILLON, P. (1996). Contribution à l'analyse des situations d'enseignement/apprentissage d'instruments sémiotiques de communication technique. *Aster,* n° 23, p. 181-211.

ASTOLFI, J.-P., PETERFALVI, B. & VÉRIN, A. (1998). *Comment les enfants apprennent les sciences.* Paris : Retz.

BERNIÉ, J.-P. (2002). L'approche des pratiques langagières scolaires à travers la notion de « communauté discursive » : un apport à la didactique comparée ? *Revue française de pédagogie,* n° 141, p. 77-88.

BRASSAC, C. & GRÉGORI, N. (2003). Étude clinique d'une activité collaborative : la conception d'un artefact. *Le travail humain,* n° 66/2, p. 101-127.

BRUNER, J.-S. (1983). *Savoir faire, savoir dire.* Traduction : M. Deleau. Paris : PUF.

COQUIDÉ, M. (1998). Les pratiques expérimentales : propos d'enseignants et conceptions officielles. *Aster,* n° 26, p. 109-132.

COQUIDÉ, M., BOURGEOIS-VICTOR, P. & DESBEAUX-SALVIAT, B. (1999). « Résistance du réel » dans les pratiques expérimentales. *Aster,* n° 28, p. 57-78.

DUREY, A. & VÉRILLON, P. (1996). La technologie : unité et diversité d'un enseignement. *Aster,* n° 23, p. 3-8.

ECO, U. (1985). *Lector in Fabula.* Paris : Grasset.

FABRE, M. (1999). *Situations-problèmes et savoir scolaire.* Paris : PUF.

FABRE, M. & ORANGE, C. (1997). Construction des problèmes et franchissements d'obstacles. *Aster,* n° 24, p. 37-58.

FLAGEUL, R. & COQUIDÉ, M. (1999). Conceptions d'étudiants professeurs des écoles sur l'expérimentations et obstacles corrélatifs à sa mise en œuvre à l'école élémentaire. *Aster,* n° 28, p. 33-56.

FRANCE : MINISTÉRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (2002). *Qu'apprend-on à l'école primaire ?* Paris : XO : CNDP.

FRANCESCHELLI, S. & WEIL-BARAIS, A. (1998). La routine conversationnelle comme stratégie de changement. In A. Dumas Carré & A. Weil-Barais (Éds.). *Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique.* Berne : Peter Lang. p. 211-238.

LEBEAUME, J. (1996). Une discipline à la recherche d'elle-même : trente ans de technologie pour le collège. *Aster,* n° 23, p. 9-42.

LEBEAUME, J. (2000). Jeux d'étiquettes, jeux de Kim, jeux de familles, puzzles ou devinette à l'école. Découverte du monde, sciences et technologie aux Cycles 2 et 3. *Aster,* n° 31, p. 197-215.

LENOIR, Y. (1996). Médiation cognitive et médiation didactique. In C. Raisky & M. Caillot (Éds.). *Au-delà des didactiques, le didactique.* Bruxelles : De Boeck. p. 223-251.

MARTINAND, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière.* Berne : Peter Lang.

MARTINAND, J.-L. (1998). Modélisation, résolution de problème et médiation. In A. Dumas Carré & A. Weil-Barais (Éds.). *Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique.* Berne : Peter Lang. p. 271-277.

MOUNIER, É. & BISSERET, A. (2001). Usage de la ponctuation dans la description technique : marquer la partition de l'objet décrit. *Le travail humain,* n° 64/4, p. 363-390.

PEIRCE, C.S. (1978). *Écrits sur le signe.* Paris : Éd. du Seuil.

RABARDEL, P. (1995). *Les hommes et les technologies. Approche cognitive des instruments contemporains.* Paris : Armand Colin.

ROUSSEAU, J.-J. (1999). *Émile, ou De l'Éducation.* Paris : Garnier (1re édition : 1762).

SWALES, J.-M. (1990). *Genre analysis.* Cambridge : University Press.

VÉRILLON, P. (2004). Discuter et agir pour produire des artefacts matériels en technologie au collège. In J. Douaire (Éd.). *Argumentation et disciplines scolaires.* Paris : INRP. p. 163-178.

VÉRILLON, P. & RABARDEL, P. (1995). Cognition and artefacts : a contribution to the study of though in relation to instrumented activity. *European Journal of Psychology of Education, t.* X, n° 1, p. 77-101.

VYGOTSKY, L.S. (1930, éd. 1985). La méthode instrumentale en psychologie. In J.-P. Bronckart et *al. Vygotsky aujourd'hui.* Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.

WEISSER, M. (1998). Processus dyadiques *vs* processus triadiques : la construction du sens par le sujet apprenant. *Les Cahiers du CIRID.* Strasbourg : Presses Universitaires. n° 9.

WEISSER, M. (2001). Pédagogie du projet et technologies de l'information et de la communication : fabriquer un CD ROM au Cycle 3. *Enseignement Public et Informatique,* n° 101, p. 145-166.

WEISSER, M. (2004). Langage et apprentissage dans *L'Émile* de J.-J. Rousseau. *Penser l'éducation.* Rouen : CIVIIC. n° 15, p. 103-121.

WEISSER, M. & RÉMIGY, M.-J. (2004). Formes de la participation et appropriation individuelle des savoirs. *Colloque « Faut-il parler pour apprendre ? ».* Arras : Université de Lille 3 et IUFM Nord Pas de Calais.

WEISSER, M. & RÉMIGY, M.-J. (2005, à paraître). Argumenter en classe : à propose de quoi ? comment ? pourquoi ? *L'Année de la Recherche en Sciences de l'Éducation.*